

证 明

5/30/02

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

CN00/00068

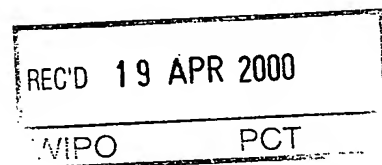
申 请 日: 99 08 30

申 请 号: 99 1 18929.9

4

申 请 类 别: 发 明

发 明 创 造 名 称: 一种平行板二极管



发明人或设计人: 徐业林 江玲 徐强

请 人: 中国科学院生物物理研究所



中 华 人 民 共 和 国

国家知识产权局局长

姜 颖

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

00 年 04 月 03 日

1. 一种平行板二极管,其特征在于它的核心工作部分,由层状物质组成,外边的两层为金属材料,在两层金属之间夹一层导电性弱的物质层,该层的载流子浓度是金属中导电电子浓度的20%以下;两金属层与导电性弱的物质相接触的那两个表面是特殊表面,两表面的表面粗糙度是不相同的,其中一个表面是凹凸不平的,其凹陷部分的平均直径小于4微米。

2. 一种平行板二极管,其特征在于它的单向导电特性是用如下的方法获得的,它的核心工作部分,由层状物质组成,外面的两层为金属材料,在两层金属之间夹一层导电性弱的物质层;两金属层与导电性弱的物质相接触的那两个表面是特殊表面,其中一个表面(3)是平的,另一个表面(1)布满了很多井(6),该井的直径在4微米以下,由于井的直径很小,井壁的异性电荷的吸引作用将显现出来,异性电荷对出现,形成电场(8),电场的方向与导电性弱的物质层平行;该电场(8)使从电极(3)发出的电子,和从电极(1)的井底发出的电子轨迹弯曲,被井壁收集;该井能收集电极(3)发出的电子,而电极(1)井底的电子难以飞出,该井具有"进多出少"的功能;因而它是名副其实的电子井(6),而电极(3)是平的,电子出入自由,这样便使本发明中的一种平行板二极管具有无偏单向导电作用。

3. 根据权利要求1所述的一种平行板二极管,其特征在于两个特殊表面相对而言,其中的表面(1)是凹凸不平的,其凹陷部分的平均直径小于4微米;另一个表面(3)是平的。

4. 根据权利要求1所述的一种平行板二极管,其特征在于两个特殊表面,其中的表面(1)是凹凸不平的,其凹陷部分的平均直径等于或小于0.7微米;其中的另一个表面(3)也是凹凸不平的,但其凹陷部分的平均直径要大于0.7微米。

5. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征在于其两个特殊表面都布满了井,且井的直径均不超过4微米,但表面(1)上井的深度和表面(3)上井的深度是不同的。

6. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征在于其两个特殊表面都布满了井,且井的直径均不超过4微米,但两表面上的井的形状是不同的。

7. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征在于它的层状物质彼此之间应该平行,但最后它们三层组成的整体做成什么形状不受限制。

8. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征在于它的特殊表面(1)上布满了井,井的形状不限,井的平均直径应小于4微米,整个的带井电极由均匀的同一种物质构成。

9. 根据权利要求1或权利要求5所述的一种平行板二极管,其特征在于它的带井电极(1)的两井壁由不同物质组成, $e\Phi_1$ 为左井壁的功函数, $e\Phi_3$ 为右井壁功函数,它们之间的关系是:

$$\Phi_1 < \Phi_3$$

10. 根据权利要求1所述的一种平行板二极管,其特征在于它的特殊表面(1)上布满了沟,沟的形状不限,沟的宽度小于4微米。

11. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二

极管,其特征不在于它的特殊表面(1)上布满了沟,由不同物质组成, $e\Phi_1$ 为左沟壁的功函数, $e\Phi_3$ 为右沟壁功函数,它们之间的关系是:

$$\Phi_1 < \Phi_3$$

12. 根据权利要求1或权利要求2所述一种平行板二极管,其特征不在于它直接做到一个绝缘衬底上,利用模板实现多个二极管串联,以得到较高电压。

13. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征不在于其导电性弱的物质层为半导体物质,型号不限。

14. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征不在于其导电性弱的物质层为液态半导体物质。

15. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征不在于其导电性弱的物质为高电阻合金金属。

16. 根据权利要求1或权利要求2所述的一种平行板二极管,其特征不在于它的导电性弱的物质层由多层性能有差异的物质组成。

17. 根据权利要求1或权利要求2或权利要求4所述的一种平行板二极管,其特征不在于其不平表面(1)上的井,是利用在氮气气压 $\geq 1.0\text{Pa}$ 的条件下,通过自然结晶的方法形成的。

18. 根据权利要求1或权利要求3所述的一种平行板二极管,其特征不在于其不平表面,是用如下方法得到的,利用软物质的抛光粉去抛光硬物质,硬物质表面就得到微观不平表面,该抛光粉必须很细。

19. 根据权利要求1或权利要求2所述一种平行板二极管,其特征不在于其电极(1)上的井采用电子束加工机刻制的方法制成。

20. 根据根据权利要求1或权利要求2或权利要求5或权利要求6所述的一种平行板二极管,其特征在于利用如下近似公式指出的方法提高其输出电流,

$$I_T = K_3 \left(\frac{K_4}{D_1} \right)^{K_5}$$

21. 根据权利要求1或权利要求2所述一种平行板二极管,其特征在于,利用如下的方法、技术增加输出电流,

$$I_T = K_2 q D_n \frac{dn}{dx} \quad \circ$$

22. 根据权利要求1或权利要求2或权利要求5或权利要求6所述一种平行板二极管,其特征在于,利用如下的方法、技术控制电极(1)上的井,以增加电流,

$$D_1 = K \frac{4 q e}{\epsilon m_e v_e^2} \quad \circ$$

23. 根据权利要求1或权利要求2或权利要求5或权利要求6所述一种平行板二极管,其特征在于,利用如下的方法、技术提高单向性系数,进而提高电流,

$$K = \frac{n_4 - n_2}{n_1} \quad \circ$$

24. 根据权利要求1或权利要求2所述一种平行板二极管,其特征在于它的典型样品是以可伐合金为衬板兼作平表面电极,中间的弱导电性层为硅,掺杂为2%的铬,层厚约0.5微米,另一个电极也是可伐合金,它做为带井的电极,电极上的井是在硅蒸发的过程中,在氮气为1.5Pa的压力下,自然

结晶形成的,井口直径为0.7微米。

25. 根据权利要求1或权利要求 2所述一种平行板二极管,其特征在于利用非气体器件在无偏置电流、电压的条件下,就具有单向导电作用,这样的一种方法,技术获得电流、电压。

一种平行板二极管

本发明属于半导体二极管。

它具有平行板结构,因而称平行板二极管。

一般二极管的单向导电作用是以外加的偏压,偏流为先决条件的。在不加偏压,偏流的情况下,单向导电作用不存在。

本发明二极管与一般二极管相比,最大的差别是本二极管在无任何偏流、偏压的条件下,就具有单向导电作用。简称无偏单向导电作用。

本发明将详细叙述一种平行板二极管的工作原理,制做方法及对实验结果的分析计算应用前景。为了清楚起见,请允许分章节进行叙述。

第一章 一种平行板二极管的工作原理

第一节 补充知识

图1是导体与半导体接触图,图中的(1)是一块导体,(2)是一块半导体。为了讨论方便,我们假设它们的费米能级相同。由于(1)是导体,其中导电电子的浓度很大,(2)是半导体,其中导电电子浓度小。当导体和半导体接触时,导体中的导电电子向半导体中扩散,扩散的宽度 W 即称为耗尽区。

图2是一个半导体二极管器件,其中(1)是二极管的一个金属电极,(3)是其另外的一个金属电极,(2)是半导体, d 表示两个电极间的距离,这里 $d < W$, (10)是负载电阻。假设有一个电子(4),由于热运动的原因,从电极(3)出发,沿线路

(4)扩散到半导体(2)中,再由半导体运动到电极(1)中。只要有一条电子运动线路(4),我们就可以找到另一条与之相反的电子运动线路(7)。两条线路运动的电子效果抵消,电流为零。显然,图2的结构无论其电极形状和电极的材料怎样变化,均不可能具有单向导电作用。

为了说明一种平行板二极管的单向导电作用工作原理,让我们再讨论一个问题。

金属中有很多导电电子,这些导电电子是金属原子贡献出来的,原子失去外层电子变成了金属离子,就是金属中有相当一部分原子是以离子状态存在的,它们带正电荷。

图3(a)表示在一块金属上挖一个井(6),直径为 D_1 ,如当将井的直径 D_1 做得很小时,例如 $<0.7\mu\text{m}$,最大不超过 $4\mu\text{m}$ 。井臂相对两边的异性电荷的吸引作用将不可忽视,图(b)。假设井臂右表面附近有一个正离子电荷(5),左侧有一个负电荷,它们都在做热运动,某一瞬间,它们向相互靠近的方向运动。此时,库仑吸引力增加,二者距离变近;库仑吸引力再增加,距离再近,……,如此循环下去,当二者之间的库仑静电吸引力和金属晶格的弹性力相等时,上述循环停止,这时两电荷均被部分拉出金属表面(图c),为了称谓方便,这种说法称为电荷拉出说,既然,电荷已被部分拉出,它们将在两电荷之间形成电场(8),如图3(d)所示。

这样的电场(8)可能形成多个,由于它们的相斥性,它们可能有一定距离,如图(e)所示。上述的过程是一种偶然过程,也可能形成方向相反的电场(8),如图(f)所示,其中(9)表示负电荷,由于异性电荷的吸引作用,相反电场可能最终消逝,再形成新的电场。因此,该电场不是永久固定不动

12

的。对于形成在山峰上的电场,应该是稳定的;如图(g)所示。有了上述补充知识,我们再回过头来,讨论我们的正题。

第二节 平行板二极管的工作原理

图4是平行板二极管的工作原理图,它的电极(1)是由金属制成的,(2)是由半导体材料制成,对材料的要求主要是它的导电性弱,导电性弱才能保障电场(8)的形成,并且最好满足 $(d+L)<W$ 的关系。电极(1)开了一个井(6),(10)是负载电阻,(5),(9)表示被拉出表面的电荷,E表示电荷形成的电场。让我们注意一下图2中的电子(4)和电子(7),在图4中它们是怎样运动的。图4中的电极(1)发出的电子(7)由于电场E的作用,轨迹被弯曲,又回到电极(1)中。而由电极(3)发出的电子(4),轨迹也被弯曲,进入电极(1)中。就是电极(3)电子出入自由;而电极(1)进去的电子多,出来的电子少。就是,"进多出少"表现出一定的不对称性,这种不对称性与普通二极管的单向导电性相似。以 n_1 表示单位时间热运动进入带井电极(1)的电子数目,以 n_2 表示单位时间热运动离开带井电极(1)的电子数目,以K表示平行板二极管的单向性系数,则有:

$$K = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1)$$

当 $n_2=0$ $K=1$,说明电子被全部收集,实际上这种可能性很小,如K能近似地等于1,该器件的水平就算优秀的二极管了。只要K不等于零,就能输出电流。K的值应在0~1

之间。 K 就是二极管的质量系数,它表示二极管的优劣。值越大越优,最大为1。

图(4)中井(6)底部的电子较难飞出来,而井(6)外边的电子一旦"掉"进去也就难以出来。因而井(6)是一个名副其实的"电子井"。由于"电子井"(6)的作用,便形成了一股直流电流 I_T 。显然,带井电极一定是负极,与材料无关,与工艺无关,这一点完全与实验相符。为了增加电流,这种电子井(6)连续布满带井电极。

如以电子数目为电流的单位,平行板二极管输出的电流 I_T 应为:

$$I_T = K n_1 = n_1 - n_2 \quad (2)$$

图5画出了各种不同形状的井,其中(1)为带井电极。(6)为井或不平表面或沟。实验表明井的形状可以做成圆的,如图(5)(a),也可以做成方的(b),做成长方形(c),做成无规则形(d),做成细微粗糙表面(e),做成沟的形状(f),(f)中的沟也可以做成各种形状的沟,都能获得电流。

井可以由均匀材料构成,也可以如图6所示用2种或3种材料构成。图中(11)为第一种金属,逸出功为 $e\Phi_1$, (1)为第二种金属, (12)为第三种金属,逸出功为 $e\Phi_3$,它们之间的关系如下:

$$\Phi_1 < \Phi_3 \quad (3)$$

如井深,井距的尺寸都很小时,图中的(11)将带正电荷, (12)将带负电荷,正负极性是固定的,场强较强,这样的带井电极单向作用更好。

图7给出了各种形状的平行板二极管。图中(a)表示电极(1)是带井的, (2)是半导体,而另一个电极(3)是平的一种

1 V

类型的平行板二极管。图(b)表示电极(1)是带井的,电极(3)也带井,但尺寸较宽,且井的数量较少。图(c)表示的电极(1)是带井的,电极(3)为一个粗糙不平的表面。图(d)表示二极管可以弯曲成任意形形状。图7中(b),(c),(d)两电极均可产生电流,最后的电流等于两电流相减。如用 n_3 表示单位时间进入电极(3)的电子数目, n_4 表示单位时间离开电极(3)的电子数目,这时K为:

$$K = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} - \frac{(n_3 - n_4)}{n_3} \quad (4)$$

因为 $n_1 = n_3$

$$\text{所以 } K = \frac{n_4 - n_2}{n_1} \quad (5)$$

第二章 制做方法及实验结果

这里,将介绍两类平行板二极管的制做方法。第一类是采用玻璃为衬板,其优点是易于制做。第二类是以可伐合金为衬板的二极管,比较难于制做。两类实验总共重复了数百次,实验结果支持第一章的各项理论。现叙述如下:

第一节 材料与工具

(1) 实验室

实验室布局见图8。实验室装配了通风设施,其进风口(5)有滤除灰尘的功能。还配备了三相电源,自来水基本设施。(1)是门。(2)是缓冲间。(3)是超净实验室。(4)是普通

实验室。全部实验室内必须保持高度清洁。

(2) 实验材料

① 通用材料: $\Phi 0.5$ 的钨丝,屏蔽导线, $\Phi 4$ 螺钉,螺母,去离子水。

② 第一类实验的材料:

基本材料:医用载玻片,任意规格型号的能用于制做半导体器件的硅材料,800W电炉丝,块状金属锑, $\Phi 0.4$ 钼丝, $\Phi 0.8$ 钨丝。

锦上添花的材料:锗,磷,用于制做耐火砖的土,铬粉。

③ 第二类实验的材料:膨胀系数为 $3.1 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的可伐合金片(厚度为0.1—0.2mm),本征硅材料(高纯),铬粉,氩气,氮气。

(3) 仪器和工具

① 通用仪器、工具:北京仪器厂生产的DMX—220A型电镜镀膜机,400倍的光学显微镜,绕线机,自制小球磨机及研钵,天平,1毫升和5毫升的烧杯若干,小玻璃棒,牛角勺,直径10cm及直径20cm的培养皿,秒表,自制镀膜载料圆盘,DT890F+型数字式万用表,上海电表二厂生产的C31--10微安直流电表。

② 第一类实验的仪器工具:玻璃刀

③ 第二类实验的仪器工具:抛光机,小型剪板机,自制的双刀、四掷50安培的大电流,小体积,适合于在真空中工作的开关,该开关能装入镀膜机的真空罩中。自制的,小体积,适于真空中工作的,能耐高温的,且能装八个电极的平台,该平台必须能装入镀膜机的真空罩中。

(4) 防护用品及用途

超净室用的工作服,白帽子,细白线手套,乳胶手套。进实验室必须穿工作服,带细白线手套,有时需带乳胶手套。低真空镀膜,镀铈、磷和打开镀膜机罩时必须戴加厚口罩;在镀膜机房中工作也需戴口罩;镀膜机的出气口必须由专门的管子通到室外。

第二节 实验准备

(一) 第二类实验的准备

(1) 蒸硅电极的准备

将 $\Phi 0.5$ 的钨丝剪成57cm的小段,放入清洁的搪瓷洗脸盆中,加多量的洗衣粉,再倒入沸水,泡30分钟后,用海棉擦钨丝,直至钨丝光亮、干净,用自来水流水冲洗20--30分钟,再用去离子水洗两遍,放入已准备好的清洁搪瓷盘中,待用。图9是绞线方法图,将3股 $\Phi 0.5$ 的钨丝绞到一起,其中(13)是调压变压器,(14)是隔离变压器,(15)是电流表,(16)是重物,(17)是导线,(18)是支点,(19)是钨丝,(20)是瓷片,(21)是螺母,(22)是绕线机。当调整调压器到6A左右时,钨丝发热,但不要红,钨丝变软时,用手持瓷片(20),摇动绕线机(22),则钨丝将扭到一起,需扭紧。

以图9绕成的三股绞线为材料,再用绕线机通电的方法,绕制成如图10的螺旋形电极。图中螺旋电极(23)要求做成6.5圈螺旋形钨丝电极,螺旋直径 $\Phi 6.5\text{mm}$,螺旋长约45毫米。图中(24)为M4螺钉、螺母。用该螺钉将铜辫子(25)与螺旋形钨丝电极固定连接。铜辫子取自于屏蔽导线的外屏蔽层。安装前,铜辫子和螺钉均作卫生处理。螺钉如是镀锌螺钉,必须用盐酸去掉表面锌层。整个制做过程中,必须带细白

线手套和注意清洁,做好的电极放在清洁的搪瓷盘中备用。多股钨丝绞起来做成的电极使得涂硅粉变得容易。加铜辫子的目的是:①防止镀硅时四散飞粒。②使往镀膜机上安装电极变得容易操作。③防止电极烧断。该种电极的工作电流为50安培。

(2) 蒸可伐合金电极的准备

蒸镀可伐合金电极如图11所示,其中直电极(23)是用两根 $\Phi 0.8$ 的钨丝绞成的。(24)是固定螺钉。(25)是铜辫子,其要求同上。该种电极的工作电流为45安培。

蒸镀可伐合金的料准备方法如下:

将可伐合金板用铁剪子剪成1毫米宽的细条,放在钢块上,用铁锤敲打,冷打成约0.02毫米厚的可伐合金薄片,将此薄片绕在图11的直电极上,用钳子夹紧,使可伐合金薄片与电极接触良好。放好,待用。

(3) 可伐合金衬板的准备

将可伐合金板6.5厘米宽,长约18厘米,用螺钉固定在木板上。自制抛光机,采用全自动洗衣机电机,加 $\Phi 20\text{cm}$ 布轮,加重底座构成。布轮使用前需清洗,最后用去离子水洗净,40--45°C烘干。抛光粉采用绿色氧化铬粉。氧化铬粉加真空泵油,在研钵中研磨,研磨极细,再放置几日,使用时从上层取料,不得有颗粒。布轮上加抛光粉不能多,也不能少,过多则有划痕;过少则无抛光作用。抛光后,用洗衣粉水洗,用水冲净,最后用去离子水洗数次,在100倍的光学显微镜下看,表面不得有颗粒。然后,用剪板机裁成20毫米×20毫米的方形片。裁成片后再进行数次清洗,最后用去离子水洗,直至清洁为止。

(4) 镀膜机的修改

装入自行设计的双刀四掷,大电流(50A),能在真空中工作的开关。装入已制成的体积小,耐高温,50安培电流,八个电极的平台。

(5) 自制载料圆盘

载料圆盘用铝制成,具体要求参见图16。

(6) 自制模板

模板采用薄紫铜片制成,要求见图12第二类实验模板图,外尺寸为20毫米 \times 20毫米,内尺寸为14毫米 \times 14毫米。其中(26)是模板。(27)是镀层孔。

(7) 硅粉

将本征硅用球磨机或研钵粉碎成粉状,放于称量瓶中,待用。

(二) 第一类实验的准备

(1) 蒸发用电极的准备

蒸发硅的电极,请参照图10的尺寸,用 $\Phi 0.8$ 的钨丝制成。工作电流为30安培。

图13是第一类实验用的其它多种电极,蒸发硅而要重掺杂的电极,请按图13中的(a)的要求去做。主螺旋电极(23)是用 $\Phi 0.8$ 钨丝制成。螺旋上方的小鸭子形状的电极(28)是用 $\Phi 0.4$ 钼丝制成的,涂磷用的,以达到重掺杂的目的。

蒸发锗的电极,见图13(b),它是用 $\Phi 0.8$ 毫米的钨丝制成,钨丝下料总长度为31厘米。用钨丝绕成碗状骨架(23),外涂耐火泥(29),做成小坩锅的形状。阴干数日后,放在镀膜机上,通电烧制使耐火泥烧成耐火砖;制成耐火小坩锅。

蒸发铟的电极见图13(c),电极采用直径为0.4毫米的钼

丝制成, 钼丝下料长度为1.4米。图中 (30)是折叠成二股并联制成的照明螺旋。图中(23)是折叠成六股并联制成的工作螺旋。工作螺旋中放料,照明螺旋起照明作用。该电极的工作电流为20安培。

(2) 镍铬丝电极的准备

将800W的电炉丝拉直,清洁处理,两股绞到一起,长度为16厘米,用 $\Phi 3\text{mm}$ 的螺丝刀将其绕成螺旋共13圈,两端是直的,不加铜辫。该电极的工作电压为6伏。

(3) 玻璃衬片的准备

医用载玻片,裁成25毫米 \times 25毫米的方形片,清洁处理后,放置待用。

(4) 自制载料圆盘

由铝制成,参照图16。应注意能放入25毫米 \times 25毫米的玻璃片。

(5) 模板的制备

采用薄紫铜片制成,参见图14第一类实验模板图。其中(26)是模板。(27)是镀层孔。

(6) 硅粉

N型硅、P型硅均可,将其粉碎,放于称量瓶中,待用。

第三节 第一类实验方法与结果

(一) 实验的基本方法

我们将要制做的样品,如图15所示,其中(31)是玻璃衬板,它的功能是支撑无偏二极管。(3)是铬电极,它是光滑电极。(2)是硅层。(1)是带井电极,由金属锑构成。制做过程如下:

(1) 制做铬层

二极管制做过程图如图16所示,将图14中的(a)模板放入样品槽中,该模板在图16中用(26)表示,再将玻璃衬板(31)放入模板之上,用弹性压片(33)压紧。再将载料圆盘(32)固定在转轴(34)上。图中(23)是镍铬丝电极。 h 表示电极(23)到载料圆盘底部的距离,这里 $h=7.8\text{cm}$ 。放上真空罩抽低真空,当低真空抽到 13Pa 左右时,旋转载料圆盘,开轰击电压,电压值为 700V 。用开、关低真空的办法保持钟罩中的气压值为 13Pa 左右,轰击10分钟后,退掉轰击电压,停止轰击。

给电极(23)加电压,由于镍铬丝中的铬有升华特性,只要将丝加热变红,不必融化,铬原子即可飞出。由于镀膜机电流挡读数太大,我们改用监视电压,对于按上述(二)(2)准备的电极而言,其参考电压为 6V 。电压过高易起铬颗粒,电压过低不易形成膜,一般5-10分钟形成膜即可。膜的透明度约为:40%。用二片4毫米 \times 7毫米的小金属片,放在其上,相距2mm,测量其电阻,为500欧姆--4K欧姆即可。镜下100倍看,无严重颗粒,即可。

(2) 制作硅层

制做方法请参见图16,采用图14中的模板(b), $h=4.4\text{cm}$ 其余同上。

加图10中的电极两个,左右各一。将硅粉放入1毫升的小烧杯中,用注射器加少许去离子水,使料湿润,然后,再加95%纯净酒精,和成糊状物体,如不成糊状,说明硅粉颗粒太粗,应再研细。用小玻璃棒沾糊状体,向电极上涂抹,应涂抹均匀。盖上玻璃钟罩,抽真空。当真空值达到 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 时,关闭高真空阀门,使真空度退回到 1.5Pa 。微调高真空阀

门,使真空度保持在 1.5Pa -- 2Pa 之间。旋转载料圆盘,给电极加热,通电在30秒的时间内将电流加至 30A ,当料融化时,电流突然上升,这时应将电流退回到 30A ,同时记时约20秒左右,镀膜完成。一个电极用完后,再用另外一个电极,镀两层。本道工序必须戴口罩、手套。样品冷却十分钟,罩中放大气。应提醒的是,一般镀膜机放气口是很大的。放气时,有如刮起大风,罩中物体被吹起来,为了避免这种现象,应在放气口处塞入一个小橡皮塞,用微孔放气,要求1.5分钟--2分钟放气完毕,即可避免上述的放气大风。放大气后,取下钟罩,取出样品(注意戴口罩),400倍的光学显微镜下可以看出布满如图17(2)所示的花纹,布满整个硅层。在玻璃衬板上,多为圆形花纹。在金属衬板上,有圆形,方形,长方形的花纹。

图17是样品图,其中(31)是玻璃衬板,(3)是铬层,(2)是硅层,(1)是下一道工序我们将要制作的铈(带井)电极层。

花纹的形成过程,我们试分析如下:

在这一道工序中,有 1.5Pa 的真空存在,当电极加热时,氧化过程将罩中的氧气消耗掉了,所剩为 N_2 ,其分子量28,恰等于硅的原子量。当硅蒸发后,与氮分子碰撞,最有效。容易使硅原子处于杂乱无章的热运动状态,遇凉物体则凝结。如图18表示这一凝结过程。其中(31)表示玻璃衬板。(3)表示铬层。(2)表示硅层。图中(a)表示形成很多结晶中心,随着时间的加长,结晶中心逐渐变大,如图(b),(c),(d),(e)直至形成(f)花纹。也就是图17中的花纹。真空度过高,硅原子直线运动,不形成花纹。真空度过低,花纹很好,但极不坚固,在空气中很快便自行损坏。 1.5Pa 的压力是用实验的方法得到的。如用氮气代替 1.5Pa 的空气,效果更好。

(3) 铈层的制做

用如图13(c)的电极,螺旋中加铈块,加电流20A,约2分钟即可得到铈层。稍冷却即可取出,测量。

本样品采用上述材料的道理如下:

- ① 载玻片,硅,铈它们的膨涨系数差别不特别大。
- ② 铬镀在玻片上较为坚固。
- ③ 铈易于蒸发,不会损坏硅的花纹。

本实验重复次数很多,只介绍其中的5个实验结果。

(二) 实验结果1:一般性观察

上述制做的样品用数字式万用电表测量,该表的内阻为10兆欧姆。

为了防止干扰,本文二极管应该放在如图19的厚金属屏蔽室中进行测量,其中(35)代表厚屏蔽室,(36)表示光电池,热电偶,各种探测器或任何一种形式的能量转换器,它们的代表符号是 D_p , (37)是器件 D_p 的负载, (10)是平行板二极管的负载电阻。(38)表示本平行板二极管,以符号 D_T 表示。(39)是接地线,以消除一切干扰。测量结果列于表1

表1. 一种平行板二极管的一般性能

器件名称	本二极管	光电池, 热电偶, 各种探测器, 能量转化器
测量仪器	数字式万用表	数字式万用表
测量结果	$V \geq 200\text{mV}$ $I \approx 2 \times 10^{-8}\text{A}$	$V = 0$ $I = 0$

由于一种平行板二极管具有无偏单向导电作用, 故也可称其为无偏二极管。

对于平行板二极管, 用表中给出的测量仪器进行测量,

给出空载电压不低于200毫伏,电表直流内阻10兆欧,流过的电流则为 2×10^{-8} 安培。

而在完全相同的屏蔽室中,光电池,热偶电阻,各种探测器,各种能量转换器,即便使用 10^{-13} A的高灵敏度检流计,也探测不出电流或电压来。

平行板二极管输出空载电压值,比用麦克斯韦气体分子运动公式计算出来的结果高。这可能是因为麦克斯韦分布公式是对气体分子而言,气体分子是不带电的。这里,导体中导电电子是带电的。带电粒子的相互碰撞比中性分子相互碰撞复杂得多,这可能引起导电电子速度分布曲线变宽,致使输出电压增高。

(三) 实验结果2:观察长期稳定性实验

在制做过程中,掺杂铬粉(3.3%),该样品得到了较好的长时间稳定性,该样品是1997.3.24制成的,它的空载输出电压随时间的变化见图20。图的横坐标为日,纵坐标为空载输出电压,样品在自然状态,放置一年后,再改放在普通干燥罐中保存。测量方法同上。电表内阻为 $10\text{M}\Omega$,该样品在两年的时间内,空载电压保持在200毫伏左右,测量空载电压时的相应电流为 2×10^{-8} 安培。

(四) 实验结果3:增加电压实验

本实验的设计思想是:串联增加电压。本实验的要点是:制做新的模板,使多个样品自行串联。实验结果与当初的想法是一致的。5个二极管串联,得到了1.0伏特的串联电压。该样品是1997年5月31日制成的。

(五) 实验结果4:增加电流实验

一般N型硅半导体掺杂物为磷,P型半导体掺杂物为

硼。磷在43个大气压下 590°C熔化,它极易蒸发。硼的熔点为2300°C,它很难蒸发。硅的熔点为1410°C。因此,在上述蒸发硅的过程中,掺杂物无法与其同步的蒸发到衬底上,因此上述所有样品都是不满意的掺杂。本实验的目的是,增加掺杂,降低电阻,增加电流。

具体办法是:采用图13(a)中的电极,硅糊涂在螺旋电极(23)上。用无水酒精溶化红磷(浓度10%),用小玻璃棒涂在小鸭子(28)上,便可实现磷与硅同步地蒸发到样品上(该实验易引起咳嗽,请注意防护)。这样制成的二极管的性能如下:

空载电压不低于 200毫伏特。

短路电流为 5微安培。

用硅制造二极管,成功率很高。

(六) 实验结果5:更换半导体材料的实验

将硅换成锗,也能得到电流、电压,具体方法是采用图13(b)所示电极。该样品的长期空载电压的变化见图21,该样品的空载电压,在将近1000天的时间内,从开始的200毫伏降至70毫伏左右。它是1996年11月13日制成的,距定稿日期止已有两年零8个月。开始样品放在普通实验室里,后改放入普通干燥罐中,从外观上看,该样品有局部损坏的现象,这可能是读数变化的原因。该样品的短时间放电特性见图22,该图是样品制成后5天测量的。其负载电压为120毫伏,负载电流为 0.4×10^{-7} 安培。应该说明的是,用这种方法制造锗二极管,成功率极低,其原因之一是因为锗的原子量为72.6,比氮分子量大的多,与氮碰撞不易形成杂乱无章运动的结果,对形成图18中的花纹不利。

第四节 第二类实验方法与结果

上述的实验, 电流在 10^{-8} 安培的量级上, 样品能较长时间的保持电压。但是, 当增加掺杂至电流为 10^{-6} 安培量级时, 样品保持的时间很短。这可能是因为, 硅层太薄, 掺杂过量会形成短路通道, 致使电压、电流降至零。改善方法是, 增加硅层的厚度。在医用玻璃片上增加硅层厚度, 硅层会自行损坏的。为此, 我们采用膨胀系数为 $3.1 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的可伐合金板为衬板, 硅的膨胀系数 $2.5 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$, 带井电极也是由 $3.1 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的可伐合金构成。三者之间膨胀系数很接近, 可以保障坚固性。

(一) 实验方法

我们将要制成的样品, 如图23所示。其(3)为可伐合金衬板。(2)是硅层。(1)是可伐合金带井电极。

具体制做方法如下:

(1) 烧电极

将8个三股 $\Phi 0.5$ 的钨丝绕成的电极(见图10), 紧凑地安装在载料圆盘下方。盖上镀膜机罩, 抽真空, 当真空度升至 $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 时, 电极逐一通电, $35\text{--}40\text{A}$, 1分钟, 以烧掉电极上的油质, 杂物。

(2) 轰击

将已裁好的可伐合金方片(20毫米 \times 20毫米), 装入载料圆盘, 工作面向下。圆盘下方加放电圆环, 相距3厘米。抽真空至 $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 。充入氩气, 调节镀膜机针形阀门和高真空阀门, 使氩气压保持 13Pa 。加轰击电压300伏, 20毫安, 轰击1小时。

(3) 蒸硅

硅粉中掺杂铬粉 (2%), 将硅糊涂抹到电极上, 载物圆盘, 距电极 4.4cm, 具体方法前面已论述过。这里不再重复。抽真空到 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 关闭高真空阀门。加氮气, 气压保持在 1.5--1.8Pa 之间, 转动载料圆盘, 电极逐一通电, 在 1 分钟内电流由零增至 50 安培, 并保持 1 分钟。在旋转载料圆盘的状态下, 冷却 7 分钟后, 再进行下一个电极。8 个电极完成后, 应该有 8 层硅, 在玻璃参照片上, 应该是不透明的。停止载料圆盘旋转, 冷却约 2 小时, 这时形成一个硅层。打开钟罩, 再将 8 个电极涂料, 重复上述镀膜过程。这时, 又得到了 8 层硅层, 第二个 8 层应比前一个 8 层要薄一些, 因为电极会衰老。总共应该已有 16 层硅了, 这 16 层硅在图 24 中以 (2-2) 表示。由于, 低真空镀膜是不坚固的, 为了加强坚固性, 在 (2-2) 上再加约 6 层的高真空硅膜 (2-1), 具体方法如下:

打开钟罩, 对 8 个电极再进行涂料, 加钟罩, 抽真空到 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 。在高真空下镀硅, 对于已经第三次使用的老电极而言, 能有 6 个电极满意工作就算很好了, 如图 24 (2-1) 所示。请注意勿过厚, 否则会自行损坏。

这时, 我们便得到了如下的硅层:

(16 层: 1.5Pa 氮; 硅) + (6 层: $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$; 硅)

(4) 蒸可伐合金

用图 11 的直电极, 电极距样品 4.4 厘米, 其真空度为 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 通电 45A, 约 1 分钟, 可伐合金即可蒸发上, 如图 24 中的镀层 (1)。

这时, 我们便得到了, 如图 24 所示的样品, 其中, (1) 是可伐合金制成的带井电极。(2-1) 是高真空下镀的硅层, 它

起加固作用。(2-2)是1.5Pa,氮气气体中形成的硅层.它的作用是形成井。(3)是另一电极,可伐合金衬板。

(二) 实验结果1

按上述方法制成的样品,以1999年4月20日制成的样品为例。制成当时,空载输出电压为200毫伏,短时间输出电流为 $2\mu\text{A}$ 。放置28天后,其性能曲线见图25,其横坐标为分,纵坐标为毫伏和微安。负载电阻为0.9兆欧姆。其负载电压为100毫伏,负载电流为0.1微安。

(三) 实验结果2

按上述类似的方法,制成的一个样品的负载特性曲线见图26,该样品是1999年5月11日制成的, Si中掺杂 Cr为2.5%。图的横坐标为秒,纵坐标为电压毫伏和电流微安,放电负载电阻为 $220\text{K}\Omega$ 。其负载电压为30毫伏,负载电流为0.2微安。

用电阻镀膜机制成的半导体膜,不甚理想。做为产品,不应该用此方法制造,应该采用常规的微电子学制做方法。但电阻镀膜法,设备简单,实验速度快,一机多用。它帮助我们很快地找到了真理。就实验而言,不失为一种好方法。

第五节 其余的实验结果

本发明者进行了数百次实验,有实验纪录。前面仅列出7个实验结果,其余的实验不再逐一论述实验过程,也无法逐一系列出实验结果,只能将实验结果进行如下的综合论述。

(1) 实验证明图2结构是不能获得电流,电压的。

(2) 图4结构可以获得电流、电压。实验证明:"电子井"

是获得电流, 电压的必要条件。有"电子井"就有电流, 有电压; 没有"电子井", 就没有电流、电压。"电子井"的直径不得超过4微米。其他形状的凹陷, 与井有类似的功能。

在铝片上, 按上述有关工艺过程制做二极管, 可以得到较高的电流、电压。在这类实验中, 增加一道工序。这工序就是, 当带井的硅层形成以后, 将铝片在真空中通电, 使硅层熔化, 井被填平。然后, 再完成其它工序, 这时制成的二极管, 电流、电压均为零, 因为它们电极上的井已全部被填平。

(3) 在井的直径不变的条件下, 井分布的愈满, 电流、电压愈高, 否则降低。

(4) 第一类实验, 一般出现如图5(a)所示的圆形井, 这种样品能够输出较大的电流、电压, 说明圆形井说是准确的。

(5) 第二类实验, 一般易出现如图5(b),(c),(d),(f)之类的井, 具体出现何种形式的井, 与可伐合金衬板表面的抛光情况有关系, 出现这类花纹时, 也能得到较大的电流、电压。这类实验说明图5中的(b),(c),(d),(f)理论是准确的。

(6) 用抛光铝的软抛光粉, 如氧化铁粉去抛光比铝硬的物质, 如可伐合金, 可伐金属表面便能形成如图5(e)的形状, 也有电流、电压。将粉研细, 可增加电流。这一实验, 说明图5(e)的理论是准确的。

(7) 第一类实验, 以玻璃为衬板, 在衬板上加铬层, 铬层很平。铈电极是带井电极, 用符号(1)表示。电极的表面(1)是凹凸不平的, 其井或凹陷部分的平均直径等于或小于0.7微米。另一个表面(3)是平的, 这种结构能够输出较大的

电流、电压。说明图7(a)理论是准确的。

(8) 用不抛光的可伐合金或不抛光的铝片为衬板制做二极管,它们的自然表面与图7中的(b)(3),(c)(3)表面很相近,也能得到较大的电流、电压。这类实验说明图(7)中(b),(c)的理论是准确的。

在这些实验中,二极管的表面(1)是凹凸不平的,其凹陷部分的平均直径等于或小于0.7微米;其中的另一个表面(3)也是凹凸不平的,但其凹陷部分的平均直径要大于0.7微米。

(9) 在可伐合金板抛光过程中,在螺钉固定处,可伐合金板产生很大的变形,和图7(d)中的电极(3)很相近。用这种衬板制做二极管,也能得到较大的电流、电压,说明图7(d)的理论是准确的。就是,二极管的层状物质彼此平行。它们三层组成的整体做成什么形状不受限制。

(10) 用各种型号的硅,其中包括n型和p型,包括高阻型,中阻型,低阻型,重掺型,本征型。用多种来源的锗,制做二极管,都能获得电流、电压,与半导体是什么类型无关系。

就是,不论何种弱导电物质,只要它的电阻不非常小,均可获得电流、电压。

从这类实验,我们推断,液体半导体、高电阻金属合金将是平行板二极管的有效材料。高电阻合金,它们属于金属,强度比半导体高得多。因此,用它们制造二极管,将是很很坚固的。由于液体具有流动性,用它们制造二极管的优点是,即便是损坏了,还可以自行修复;另外,器件不会因膨胀系数不同而损坏;这样,任何一种金属都可以做为制做电极的材料,不受料源的限制,为平行板二极管的普遍应用

创造条件。还有一个优点就是,液体具有热交换性能好的优点。

(11) 在所有的各类实验中,均满足导电性弱的物质层的载流子浓度是金属中导电电子浓度的20%以下这样的关系,只有这样才能输出电流、电压。曾经作过实验,不满足20%的关系,电流、电压为零。因为导电性过强,用符号(8)表示的电场 E 就不能形成,图4中的电子轨道弯曲就不会出现,电子并收集电子的作用不存在,无偏单向导电作用不存在。电流、电压均不会出现。

(12) 当二极管满足公式 $d < W$ 时,电流、电压较高;当不满足上述关系时,也有电流、电压,但数值降低。这一实验结果,与式(12)的计算是一致的,在计算电流 I_T 的公式(12)中,有 dn/dx 一项,当厚度增加时,该项变小,电流、电压随之变小。在使用中,电流、电压不是唯一的技术指标,还有可靠性、热传导特性等许多技术指标,增加厚度可以提高二极管的可靠性。在实践中,电流、电压、可靠性应三者兼顾。

(13) 总结上述(1)-(12)的实验结果,不难总结出本发明的特点是:它的核心工作部分,由层状物质组成,外边的两层为金属材料,在两层金属之间夹一层导电性弱的物质层,该物质层的载流子浓度是金属中导电电子浓度的20%以下;两金属层与导电性弱的物质相接触的那两个表面是特殊表面,两表面的表面粗糙度是不相同的,其中一个表面是凹凸不平的,其凹陷部分的平均直径小于4微米。

(14) 根据上述实验,及一种平行板二极管的单向导电

作用的工作原理分析,可知:对于两个特殊表面都布满了井,且井的直径均不超过4微米,但表面(1)上的井的深度、形状和表面(3)上井的深度、形状是不相同的情况下,这样的二极管也有电流、电压。

(15) 对于图6作过宏观的模拟实验,实验证明图6的关系是正确的。根据上述实验,结合模拟结果,可知,如井的两臂由两种物质组成。 $e\Phi_1, e\Phi_3$ 分别为左、右两井壁的功函数,它们之间的关系是:

$$\Phi_1 < \Phi_3$$

这时井的单向性系数更好。这种结构如运用到图5(f)中的沟形结构中,即沟的左、右两侧分别由两种物质组成,它们的功函数满足上述关系,这样的结构,效果更好,更易于制做。

(16) 实验结果与第一章的理论分析一致,说明第一章中的,电极开井法,井中的电荷被拉出的说法,电子并能收集电子而使一种平行板二极管具有无偏单向导电作用的功能等理论是有根据的,是合理的。

第三章 结果分析及应用前景

第一节 输出电流、电压的估计

图27是计算输出电流的分析图。图中的(6)是井,(7)是井底发出的一个电子,该电子在电场E的作用下,轨迹是弯曲的。当该电子在电场E中运动,力的冲量等于电子运动的动量时,弯曲很明显,就使大部分的电子能被收集。只要中心发出的电子能被收集。两边的电场强,所有井

中的电子大部分都能被收集,这时就可以认为是单向性系数K接近于1。当半导体中电子的浓度与阿伏伽德罗常数相比非常小时,计算半导体的电场过程中,可以忽略半导体电阻的影响,以使问题简化。井的两壁被拉出的电荷以q表示,井中心 r_1 处的电场强度E为:

$$E = \frac{2q}{\epsilon r_1^2} \quad (6)$$

电子(7)飞过该电场E时,受到的横向力为F:

$$F = \frac{2q}{\epsilon r_1^2} e \quad (7)$$

以 V_e 表示电子(7)的平均速度,以 r_1 为电子(7)在电场中平均的运动距离。则电子在电场中平均运动的时间 Δt 为:

$$\Delta t = \frac{r_1}{V_e}$$

电子(7)在电场中运动,力的冲量为:

$$F \Delta t = \frac{2qe}{\epsilon r_1 V_e} \quad (8)$$

认为,当电子的冲量等于电子的动量时,电子大部分能被收集,就是:

$$m_e V_e = F \Delta t \quad (9)$$

由式(8)和式(9)不难得出如下公式:

$$r_1 = \frac{2qe}{\epsilon m_e V_e^2} \quad (10)$$

当井的直径等于或小于式(10)中的 $2r_1$ 时,井的电场则变得很强,电子大部分被收集,假设 q 全部拉出 $q=e$, $\epsilon = 11.9$, $m_e = 0.19 m_0 = 1.73 \times 10^{-28} \text{g}$, $v_e = 2.36 \times 10^7 \text{m/秒}$,考虑井的单向性系数 K ,并认为 $K \approx 1$,则井的直径 D_1 为:

$$D_1 = K \frac{4 q e}{\epsilon m_e v_e^2} = 80 \text{ \AA} \quad (11)$$

关于井的深度问题考虑如下:

如井的深度较深,单向性系数 K 增大。但是,井太深,井彼此之间的距离就应当大一些,反而降低了电流。应采取折衷方案,就是井深等于井口直径 D_1 ,这种技术方案可能是比较现实的。

电子扩散形成的电流 I_T 以下式表示:

$$I_T = K_2 q D_n \frac{dn}{dx} \quad (12)$$

其中 q 为电子电荷, D_n 为扩散系数, dn/dx 为电子的浓度梯度。 n_0 为单位体积中电子的浓度。

在电极(3)表面处,导电电子的浓度为 n_0 。对于杂乱无章热运动的导电电子,认为它们中间的三分之一在作上下运动,三分之一在作左右运动,三分之一在作前后运动,其中六分之一的导电电子向井的方向飞去,全部被收集,因此,

$$\text{井口处的电子浓度} = \frac{5}{6} n_0 \quad (13)$$

公式(12)中的 dn 的值为:

$$dn = n_0 - \frac{5}{6} n_0 = \frac{1}{6} n_0 \quad (14)$$

公式(12)中的 dx 即为平行板二极管的两电极间的距离, 这里我们取1 微米, 就是:

$$dx = 1 \text{ 微米} \quad (15)$$

$q = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑, $n_0 = 10^{18}$, 硅的 $D_n = 6$, 将上述数据代入式(12)则有:

$$\begin{aligned} I_T &= K_2 1.6 \times 10^{-19} [\text{库仑}] \times 6 \left[\frac{\text{厘米}^2}{\text{秒}} \right] \times \frac{\frac{1}{6} \times 10^{18} [\text{厘米}^{-3}]}{10^{-4} [\text{厘米}]} \\ &= K_2 1.6 \times 10^3 \text{ 安培/厘米}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

由麦克斯韦尔的速度分布论可知, 大于最可几速度的导电电子约占电子总数的50%, 即 K_2 为0.5。最可几速度相应的电压值近似为30毫伏。故当输出电压为30毫伏时的相应输出电流 I_T 为:

$$I_T = K_2 q D_n \frac{dn}{dx} = \frac{1}{2} \times 1.6 \times 10^3 \text{ 安培/厘米}^2 \quad (17)$$

上述两式为理想情况下的, 输出电流, 实际上不一定能达到该数值, 但从上述估计, 我们可以看出其应用前景。

平行板二极管的电流、电压是固体中导电电子的热运动造成的。导电电子热运动速度分布基本满足麦克斯韦分布, 这里的分布更宽一些。因此, 二极管的输出电压变化范围很大, 最大可至数百毫伏, 具体数值视负载轻重而定。能输出较大功率的电压应与最可几速度相应, 这时的电压为30毫伏。

第二节 输出电流与井的直径的关系分析

我们目前的实验中,井的直径只能做到 $0.7\mu\text{M}$,这时的输出电流为0.2微安(见图26)。理论分析如将井的直径能做到 80\AA ,电流可达800安培/厘米²。如以 D_1 表示任一井的直径,单位以厘米计,且 $D_1 \geq 0.8 \times 10^{-6}\text{cm}$ 。该硅二极管在输出电压为30毫伏的条件下,很容易求得其输出电流 I_T 的计算公式,如 I_T 以安培/厘米²计算,在最佳状态的二极管 I_T 和 D_1 之间应该有如下的近似关系:

$$I_T = K_3 \left(\frac{K_4}{D_1} \right)^{K_5} = 800 \left(\frac{0.8 \times 10^{-6}}{D_1} \right)^{4.9} \quad (18)$$

对于式(18)的理解如下:井的直径愈小,电场愈强,电场愈强,愈容易收集电子。因而,电流应与井直径的平方成反比。由图4可知,是井壁在收集电子,井壁数目愈多,收集的电子数就愈多。在带井电极的面积为常数的情况下,井壁的总面积与井的直径成反比,两个效应加起来,就成了 I_T 与 D_1^3 成反比。指数 $(4.9-3)=1.9$,可能是与电荷拉出效应等因素有关。该公式是一个技术公式,它的通式以(18)表示,其中 K_3, K_4, K_5 均为系数。支持式(18)的另外一些实验是:我们曾做过如图(28)的六角形的井,井的直径是8微米,4微米均没有得到电流,电压。这与(18)式的估计结果并不矛盾。

由公式(18)可知,缩小井口直径 D_1 是增加电流 I_T 的最有效的办法。目前,人们已经做到,将电子束聚焦到直径为 200\AA 的一个圆盘上,可知用电子束加工机刻制井的办法是可行的。

该机为精密加工仪器,应放在一楼的隔振台上,利用电子计算机进行控制其工作过程。该机采用与电视机显象管类似的扫描方法,使电子束进行扫描,同时注意消隐。利用电子束,对图4中的金属板(1)的表面,进行刻制,使该表面密布"电子井",井的直径 D_1 很小。

然后,采用化学气相淀积法,将硅等半导体材料与掺杂物按比例地、同步地淀积在电极(1)上,形成较为坚固的半导体薄层(2)。半导体薄层是自然结晶的,最后的表面是不平的。

最后,采用通用电子束镀膜机等常规镀膜法,将金属材料蒸发到半导体薄层(2)的表面上。这样二极管便全部制做成功了。显然,该二极管具有与图7(b)和(c)相近似的结构。

应该提醒的是,在本发明第二章中,结晶过程形成的井,是电流 I_T 的主要贡献者。然而,在电子束加工的方法中,由于电子束刻制的井比结晶过程中形成的直径小得多。所以,电子束刻制的井是 I_T 的主要贡献者。而结晶过程中形成的井电流方向与电子束井的主电流方向相反,这时,结晶过程中形成的井便与公式(4)中的 $(n_3-n_4)/n_3$ 相应。

第三节 能量的分析

一种平行板二极管的能量过程的分析见图29。该二极管 D_T 在没有任何偏置电路、电压的条件下,就具有单向导电作用。由于导体中的导电电子的热运动,当将该二极管的两端用导线相连时,则有一连续、持久的直流电流 I_T 流过导线(图29(a))。如果导线电阻为零,则该电流并未做功。如果在回路中串联电阻 R_T ,二极管 D_T 的端电压也是 $I_T R_T$

(图29(b))。图中(1)代表二极管的带井电极,(3)代表二极管的另一电极。该电压在二极管D内部形成一个电场 E_1 :

$$E_1 = I_T R_T / d \quad (19)$$

式中 d 表示两电极之间的距离,电场方向如图所示。由于 D_T 具有无偏单向导电作用,所以电子可以由电极(3)到达电极(1),反之困难。电极(3)中的电子由(3)到(1)运动过程中,受到减速力 eE_1 的作用。当它到达电极A后,克服减速力所做的功 w_1 为:

$$w_1 = e E_1 d = e \frac{I_T R_T}{d} d = e (I_T R_T) \quad (20)$$

如果单位时间有 n_1 个电子由电极(3)到达电极(1),它们总共损失的能量 W_1 为:

$$W_1 = n_1 w_1 = n_1 e I_T R_T \quad (21)$$

以 $n_1 e$ 做为电流的单位,则有:

$$W_1 = I_T^2 R_T \quad (22)$$

就是,二极管将热运动速度较高的电子的多余能量 W_1 拿出来,转变成电阻的功耗 $I_T^2 R_T$ 。该 $I_T^2 R_T$ 功率变成热量 Q_3 散发到环境中去。二极管损失能量将要降温,降温后的二极管从环境再吸收热量 Q_3 ,构成一个能量循环,为人所用,如图30所示。功热采用同一单位,则有:

$$Q_3 = W_1 \quad (23)$$

显然,该实验遵守能量守恒定律。

第四节 应用前景

由于该二极管具有无偏单向导电作用,用它做检波二极管,可以提高检波器的性能。该二极管也可以用于其它的电路设计中。该二极管还可以做为电子表,小型计算器,等中小功率电器的电源,等等。

附图说明如下:

图1: 导体与半导体接触图。(1)是一块导体。(2)是一块半导体。

图2: 一个半导体二极管器件。(1)是金属电极。(2)是半导体。(3)是金属电极。(4)是电子。(7)是电子运动路线。(10)是负载电阻。

图3: 金属上挖井图。(5)是电荷。(6)是井。(8)是电场。(9)是电荷。

图4: 平行板二极管工作原理图。(1)是带井电极。(2)是半导体。(3)是电极。(4)是电子。(5)是被拉出的电荷。(6)是井。(7)是电子。(8)是电场。(9)是被拉出的电荷。(10)是负载电阻。

图5: 各种形状不同的井。(1)是带井电极。(6)是井、不平表面或沟。

图6: 两种材料构成的井。(11)是第一种金属。(1)是第二种金属。(12)是第三种金属。

图7: 各种形状的平行板二极管。(1)是电极。(2)是半导体。(3)是电极。

图8: 实验室布局见图8。(1)是门。(2)是缓冲间。(3)是

超净实验室。(4)是普通实验室。(5)是进风口。

图9:绞线方法图。(13)是调压变压器。(14)是隔离变压器。(15)是电流表。(16)是重物。(17)是导线。(18)是支点。
(19)是钨丝。(20)是瓷片。(21)是螺母。(22)是绕线机。

图10:螺旋电极。(23)是螺旋电极。(24)是螺母。(25)是铜辫子。

图11:可伐合金电极。(23)是直电极。(24)是固定螺钉。
(25)是铜辫子。

图12:第二类实验模板图。(26)是模板。(27)是镀层孔。

图13:第一类实验用的其它各种电极。

(a) (23)是主螺旋电极。(28)是小鸭子形状电极。

(b) (23)是碗状骨架。(29)是耐火泥。

(c) (23)是工作螺旋。(30)是照明螺旋。

图14:第一类实验模板图。(26)是模板。(27)是镀层孔。

图15:将要制做的样品。(31)是玻璃衬板。(3)是铬电极。(2)是硅层。(1)是带井电极。

图16:二极管制做过程图。(23)是电极。(26)是模板。
(31)是玻璃衬板。(32)是载料圆盘。(33)是弹性压片。(34)是转轴。

图17:样品图。(1)是带井电极层。(2)是硅层。(3)是铬层。(31)是玻璃衬板。

图18:凝结过程图。(2)是硅层。(3)是铬层。(31)是玻璃衬板。

图19:厚屏蔽室。(10)是二极管的负载。(35)是屏蔽室。
(36)是光电池等其它元、器件。(37)负载。(38)是平行板二极管。(39)是地线。

图20: 1997年 3月24日制成的样品性能曲线。

图21: 1996年11月13日制成的样品性能曲线。

图22: 1996年11月13日制成的样品放电性能曲线。

图23: 样品图。(1)是可伐合金带井电极。(2)是硅层。
(3)是可伐合金衬板。

图24: 样品图。(1)是带井电极。(2-1)是高真空硅层。
(2-2)是1.5Pa硅层。(3)是可伐合金衬板。

图25: 1999年 4月20日制成的样品性能曲线。

图26: 1999年 5月11日制成的样品性能曲线。

图27: 计算输出电流的分析图。(6)是井。(7)是井发出
的一个电子。

图28: 六角形井。

图29: 二极管能量分析图。

图30: 能量循环图。

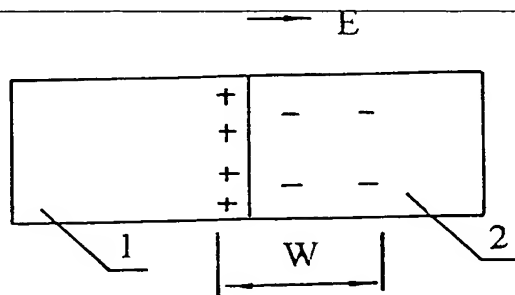


图 1

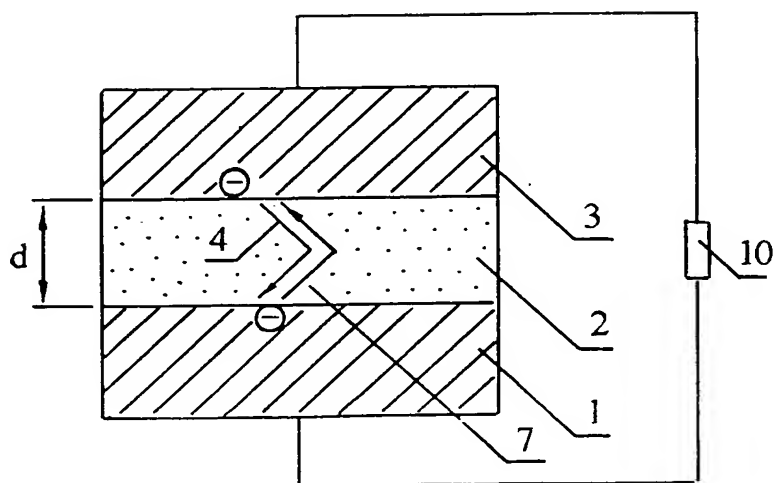


图 2

V.7.

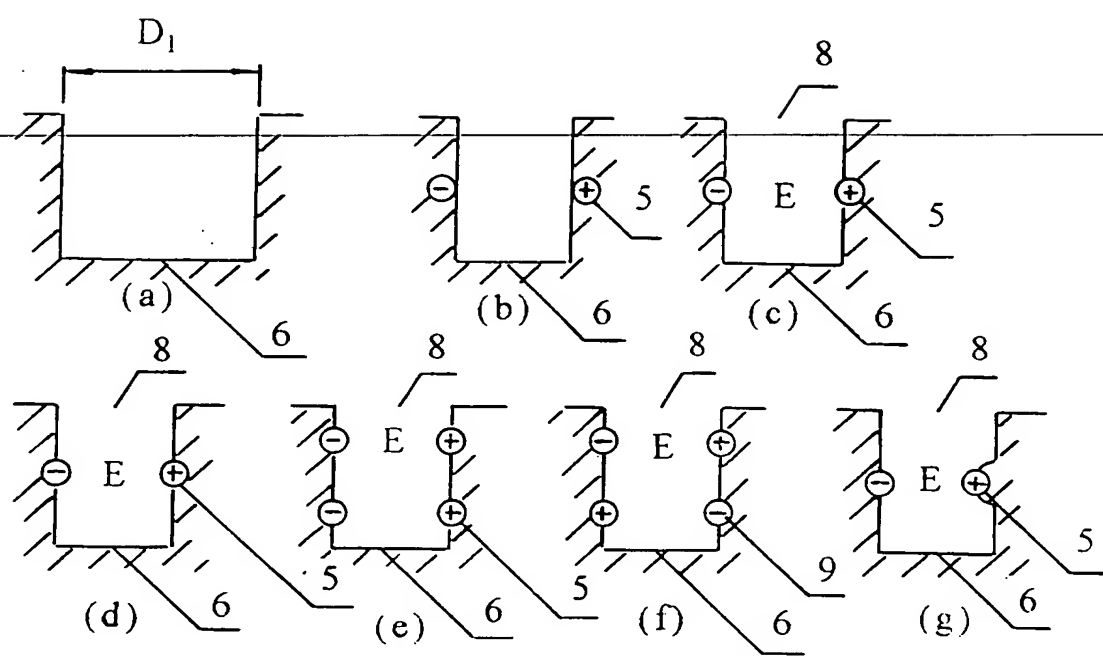


图 3

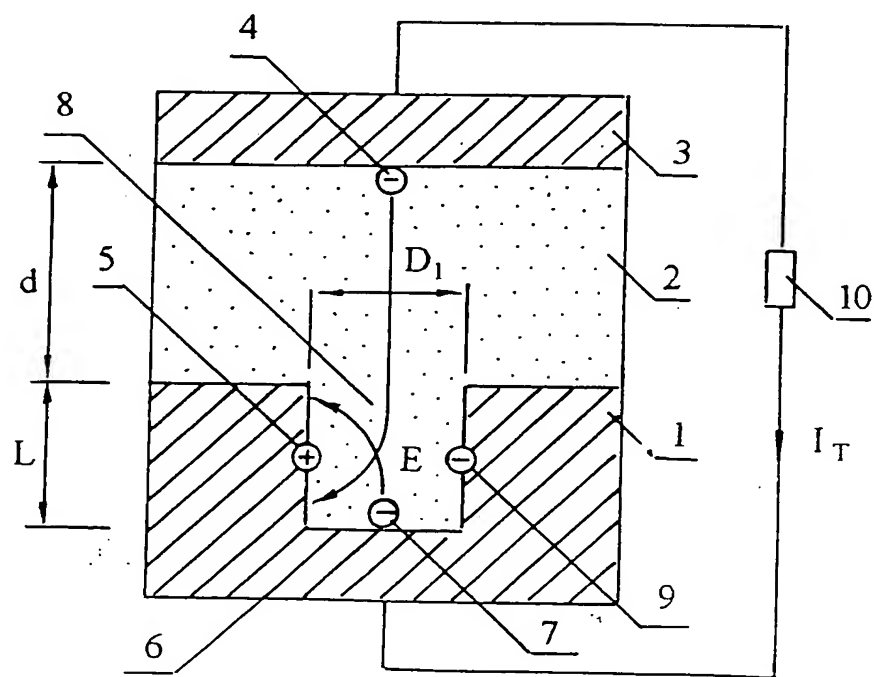


图 4

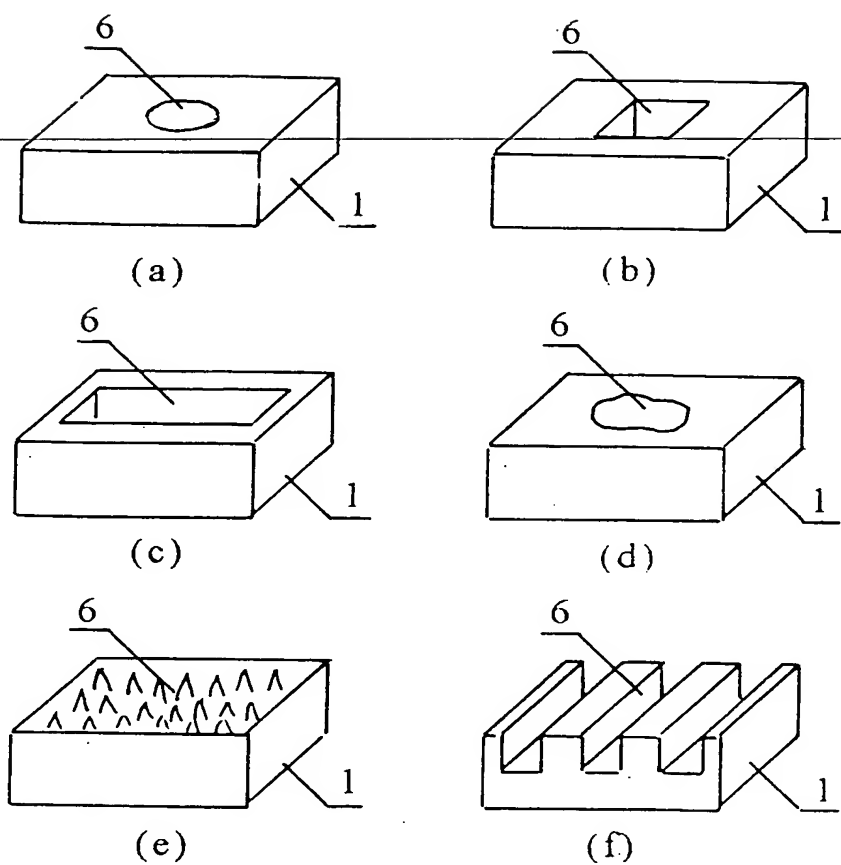


图 5

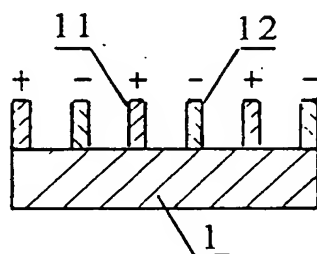


图 6

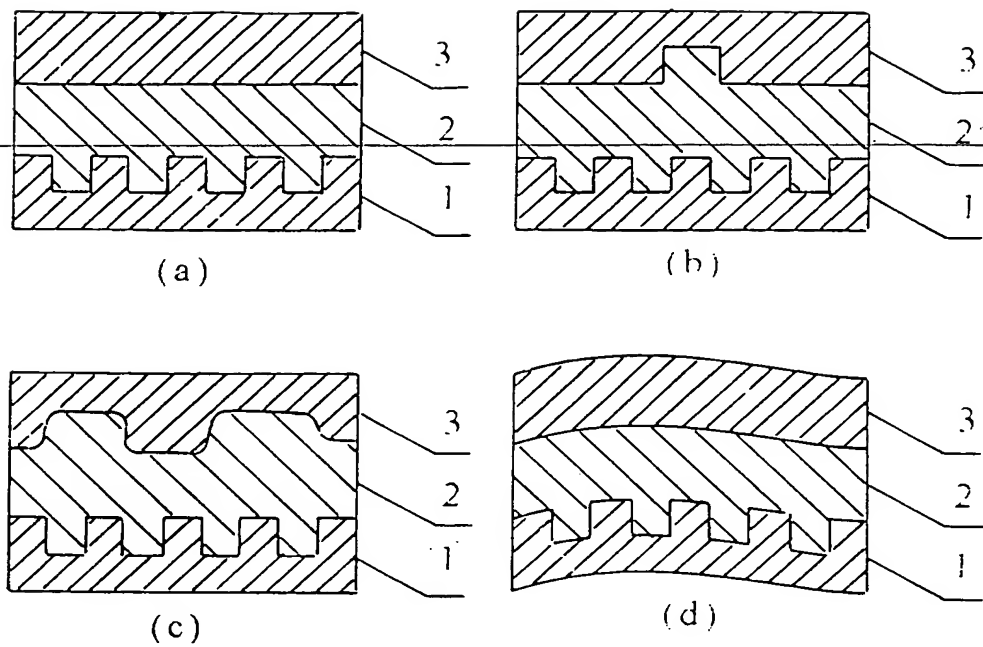


图 7

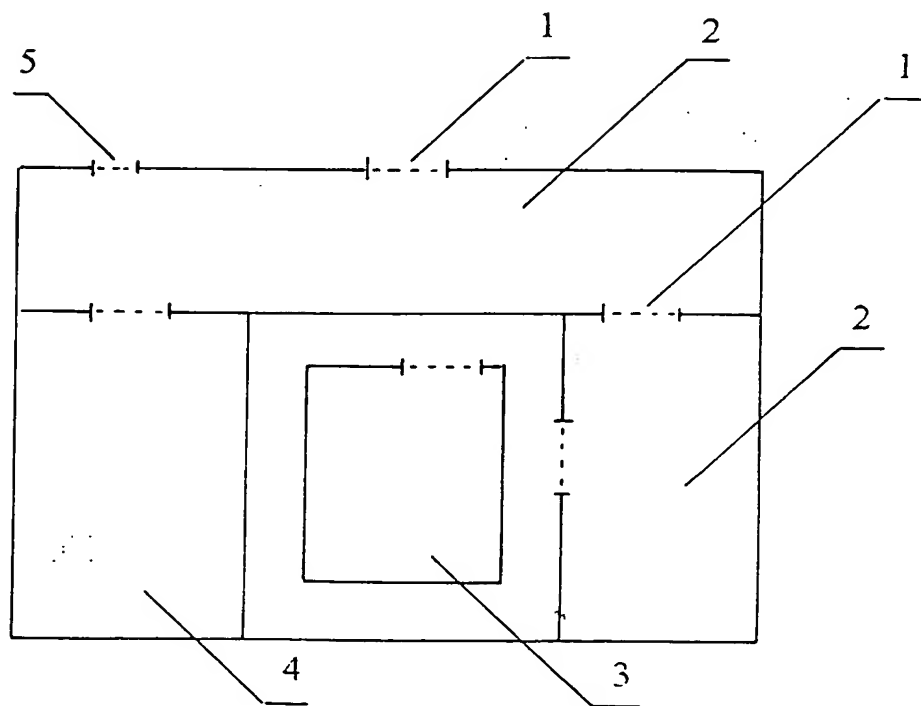


图 8

vt.

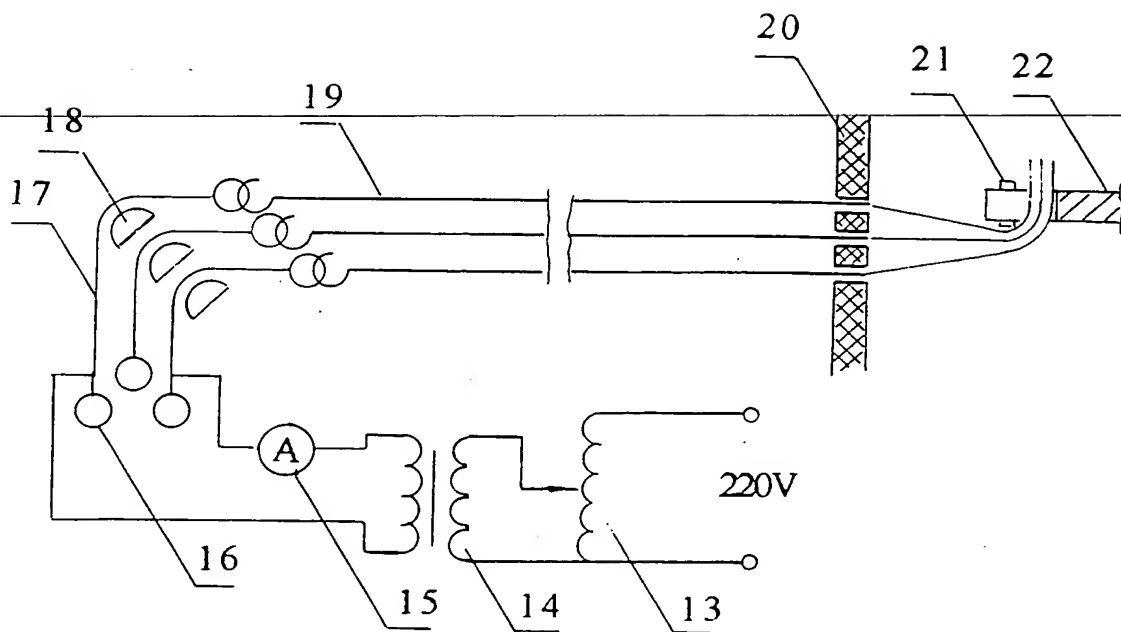


图 9

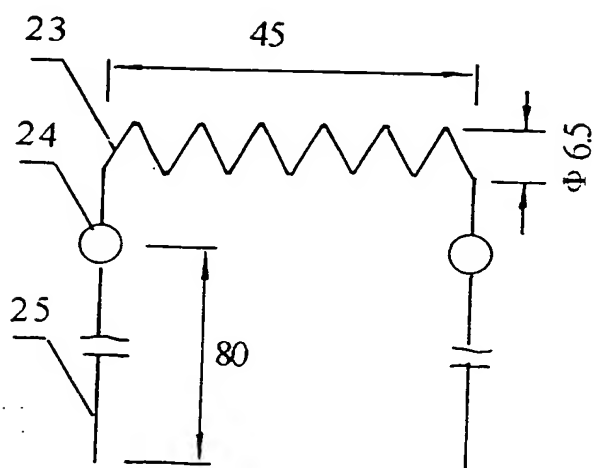


图 10

U.6

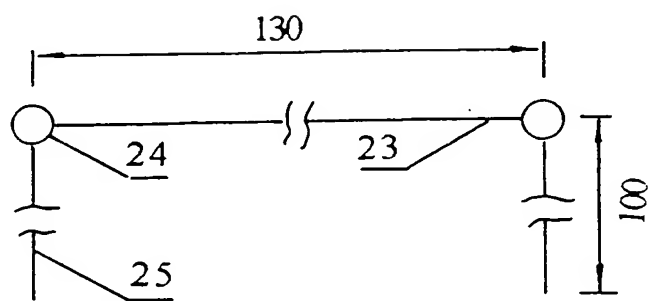


图 11

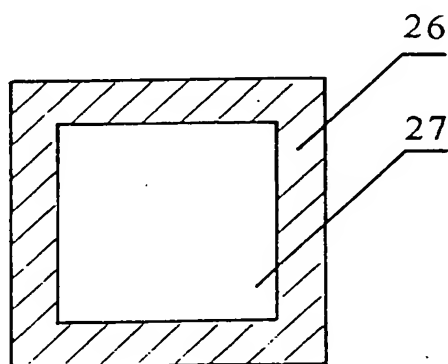
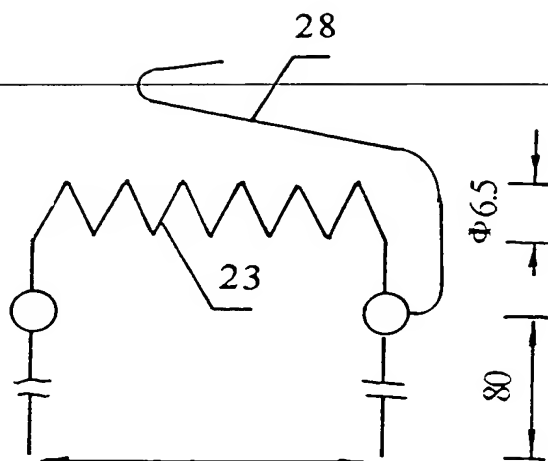
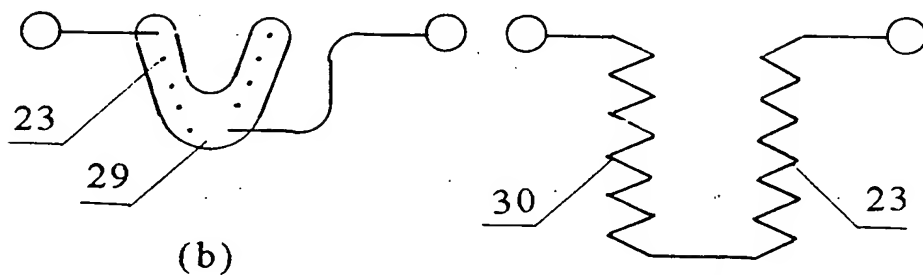


图 12



(a)



(b)

图 13

(c)

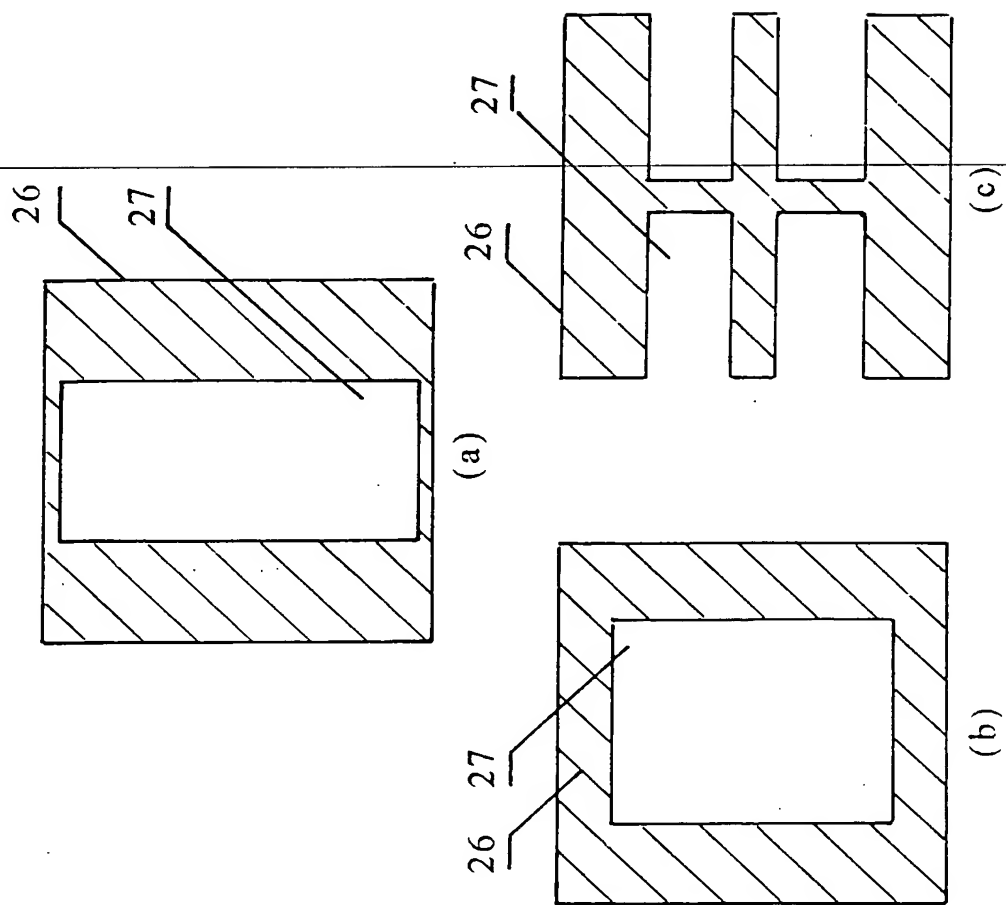


图 14

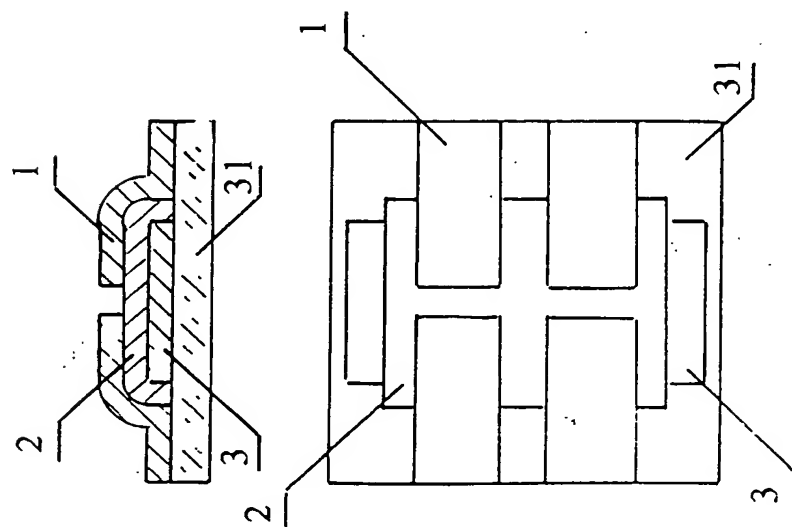


图 15

49

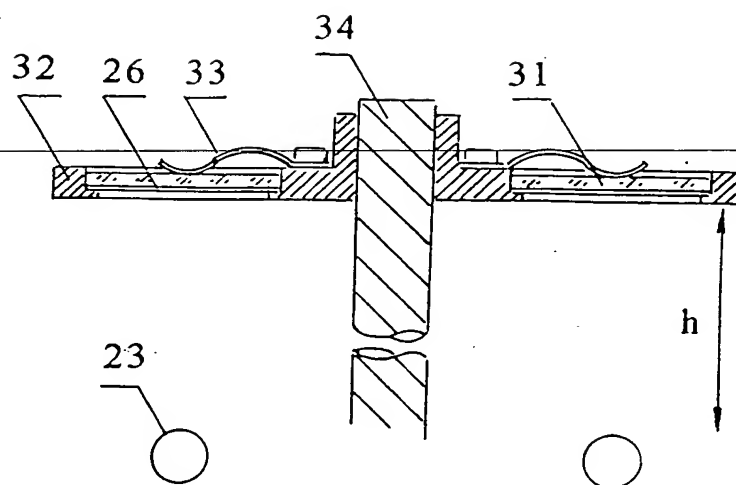


图 16

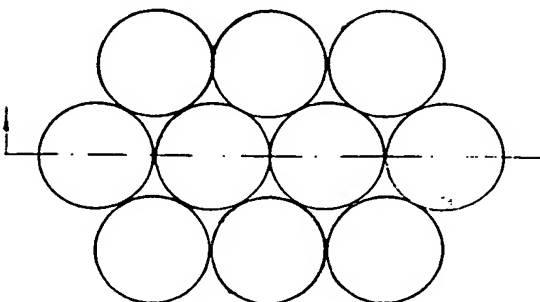
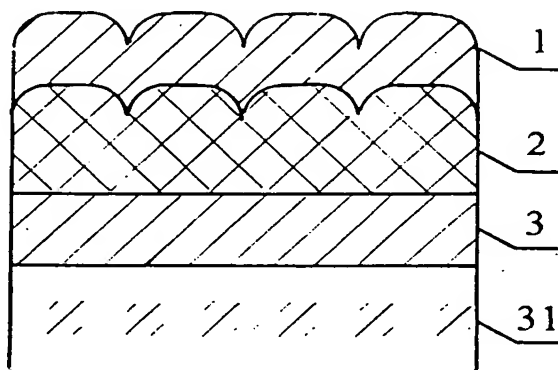


图 17

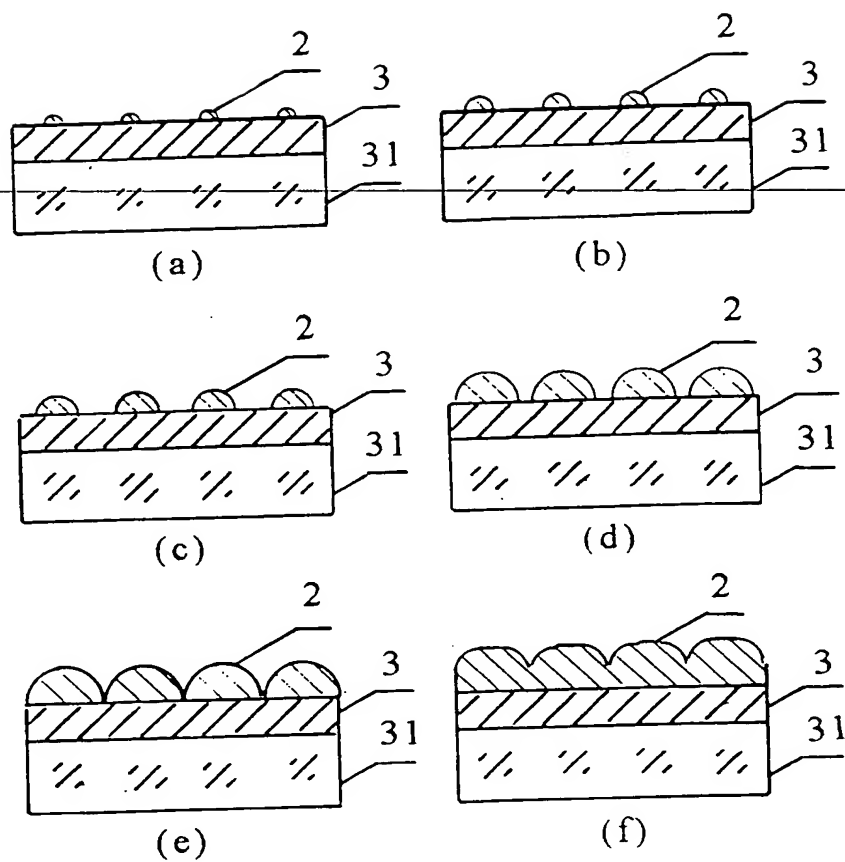


图 18

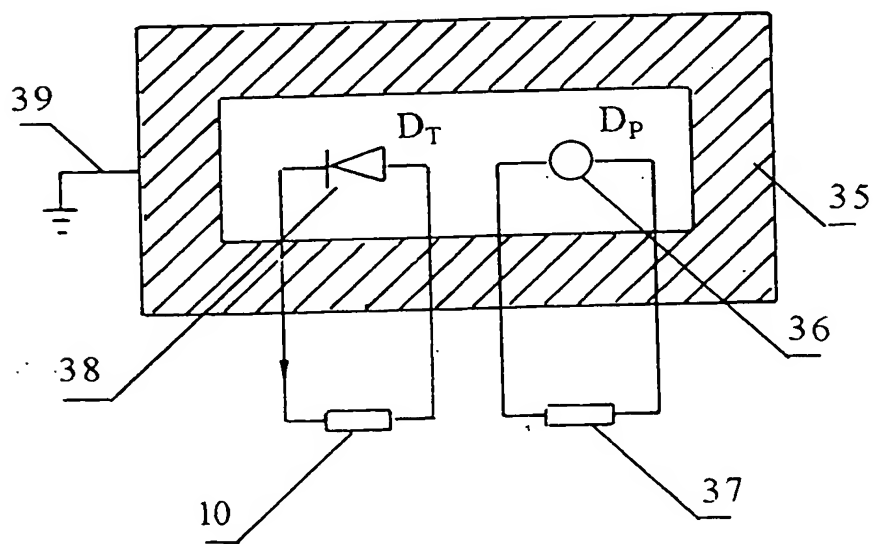


图 19

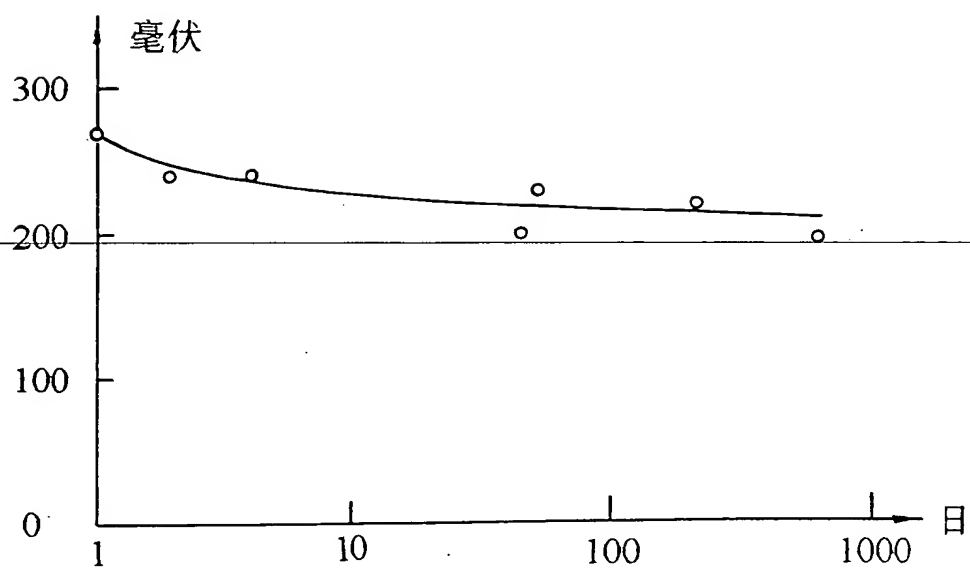


图 20

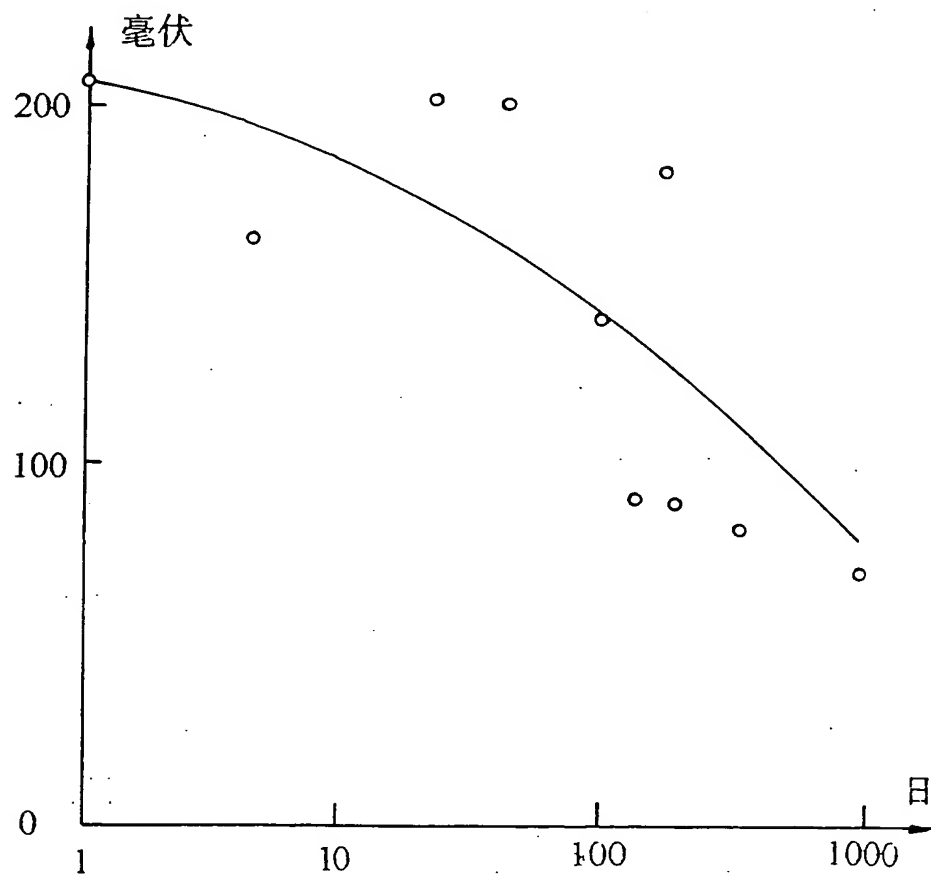


图 21

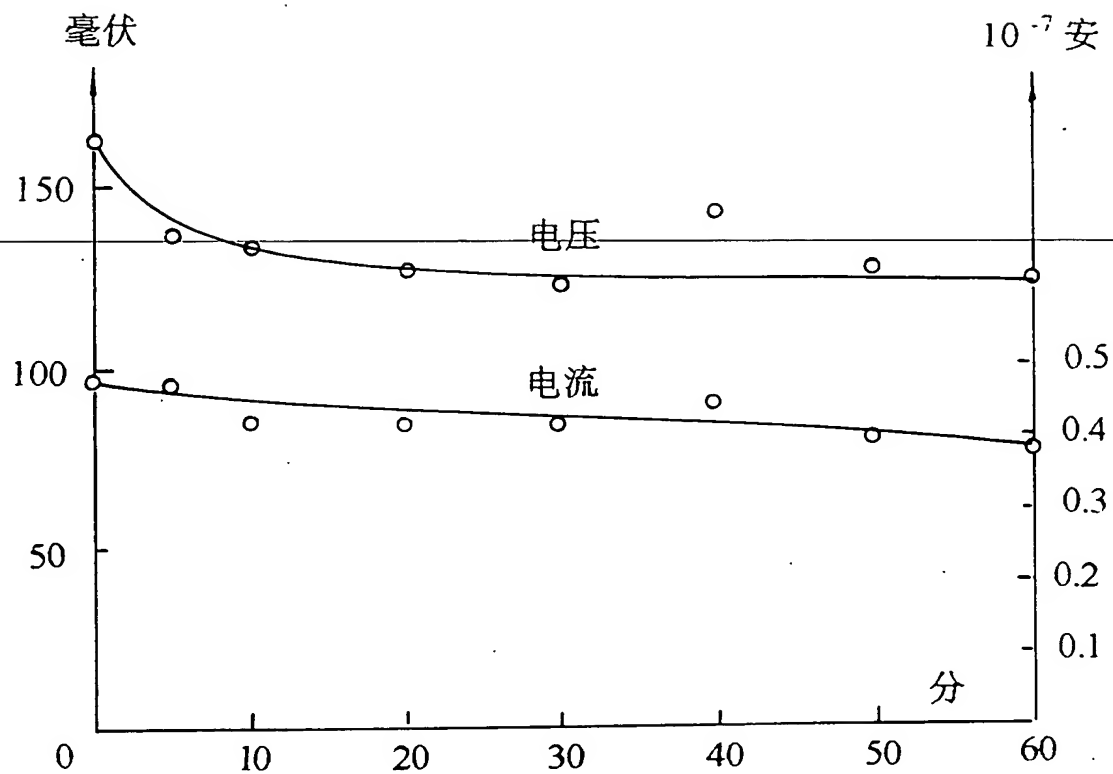


图 22

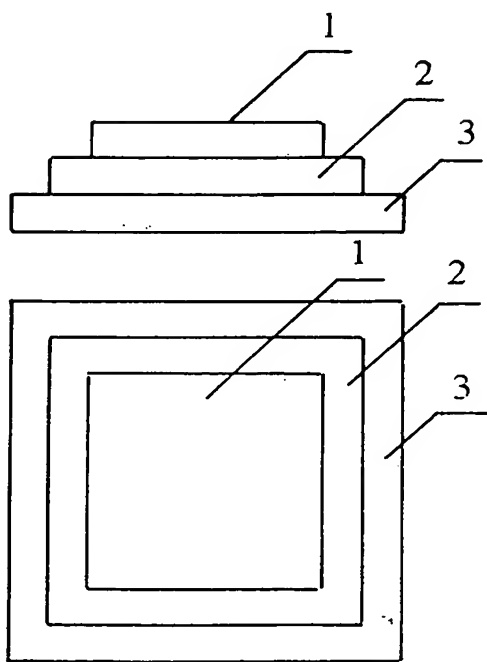


图 23

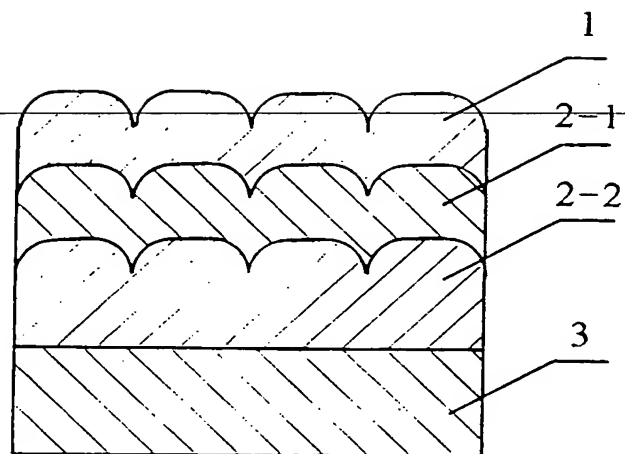


图 24

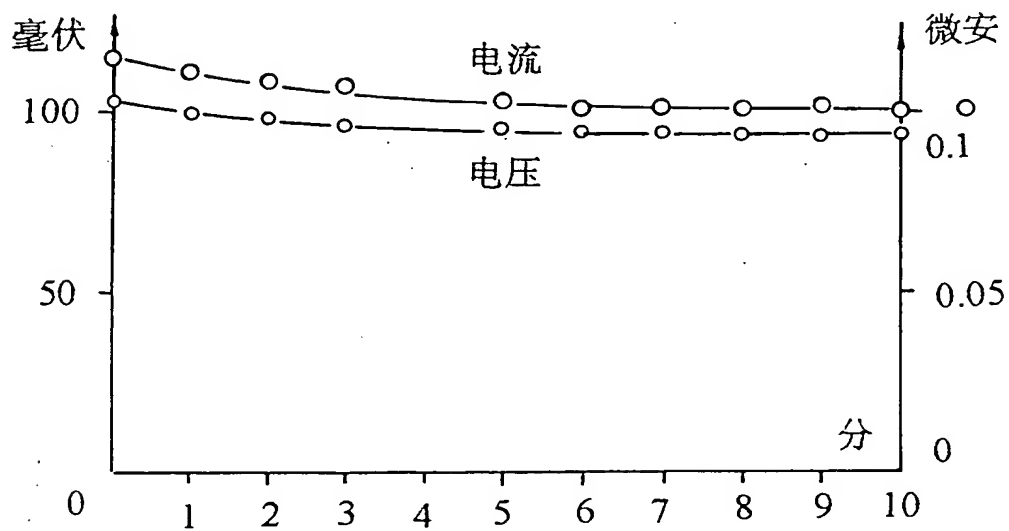


图 25

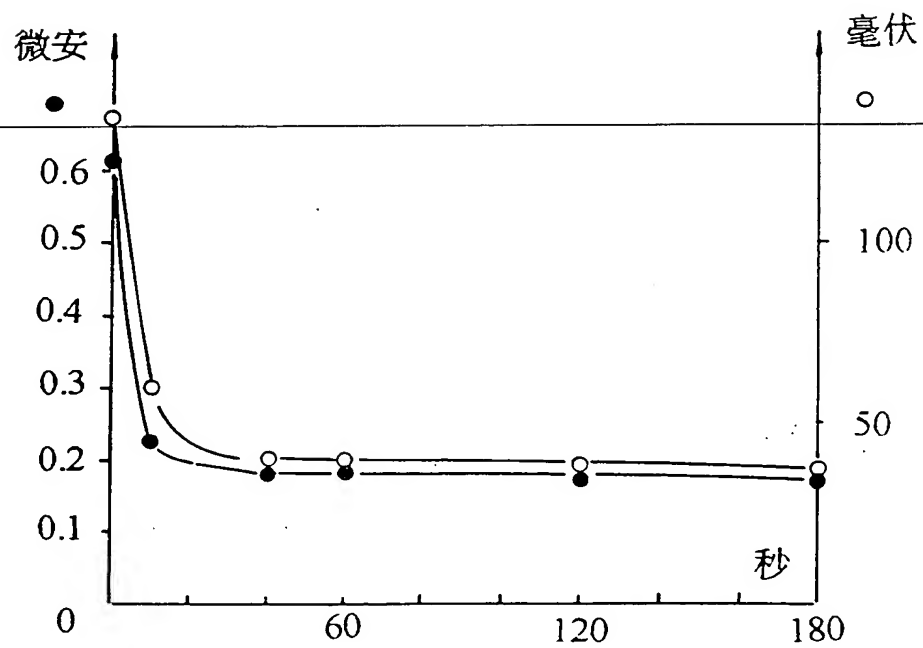


图 26

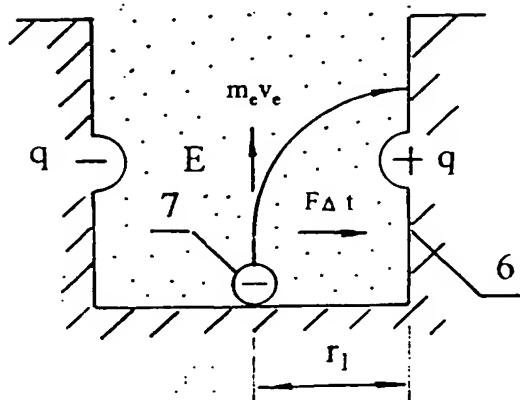


图 27

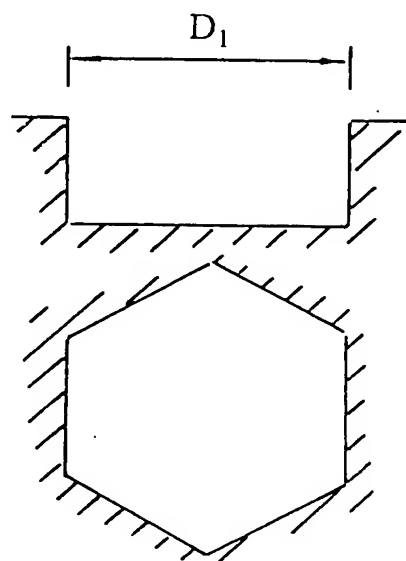


图 28

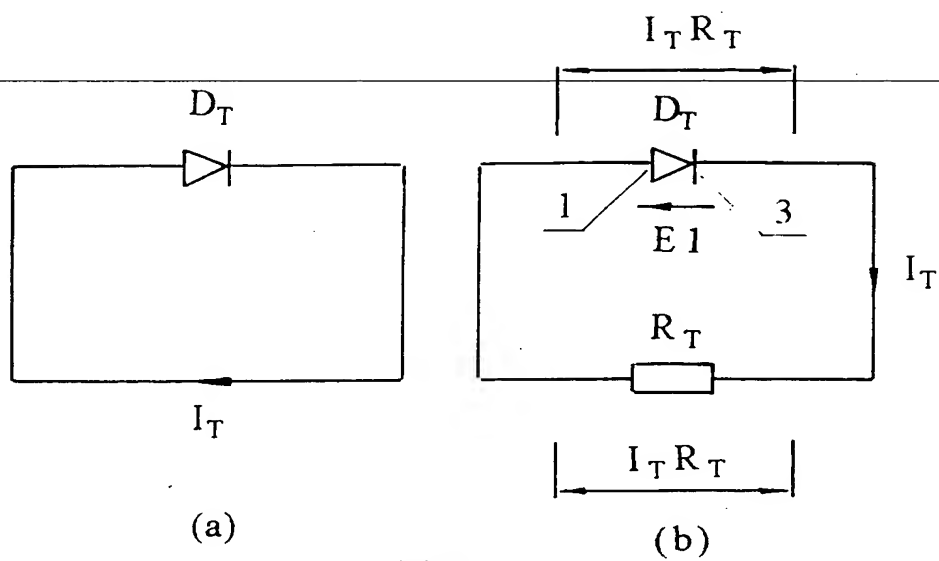


图 29

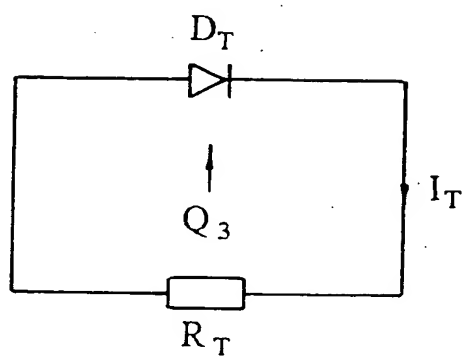


图 30